

EMF Risk Assessment

Exposure Assessment and Compliance Testing in Complex Environments

Doctoral Thesis**Author(s):**

Kuehn, Sven

Publication date:

2009

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-006037728>

Rights / license:

In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

Diss. ETH No. 18637

EMF Risk Assessment: Exposure Assessment and Compliance Testing in Complex Environments

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
ZURICH

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by
SVEN KÜHN
Dipl. Ing., TU Chemnitz
born 31 12 1979
citizen of Germany

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. W. Fichtner, examiner
Prof. Dr. N. Kuster, Prof. Dr. L. Martens, co-examiner

2009

Summary

The spectacular crescendo of advance in mobile telephony applications continuously raises public concern over the potential health hazards resulting from exposure to radio-frequency (RF) electromagnetic fields (EMF). In response, governments and industries worldwide have initiated and conducted numerous research studies to address these public health concerns.

The research field of RF EMF exposure assessment is a relatively new field born out of the demand for novel scientific methods to assess the potential health hazards of RF EMF exposure. The thrust of RF EMF exposure assessment research is to develop methodologies and numerical and experimental tools to perform exposure evaluations. RF EMF exposure assessment is divided into three categories: (1) the development of sound methods and procedures for demonstrating compliance for specific devices operated in the closest vicinity of the human body, e.g., testing mobile phones and wearable body-mounted or body-supported wireless communication devices; (2) the development of methods and procedures for demonstrating compliance *in-situ* of far field and quasi far field sources, i.e., in the absence of dominant near field sources, for example, mobile telephony and wireless local area network base stations; and (3) the assessment of real-life exposure to classify devices with respect to the user's exposure or sound exposure classifications in epidemiological studies.

Previous research mainly concentrated on the absorption mechanisms of dominant RF sources in the very close near field with respect to the human body and the quantification of exposure in terms of incident fields from mobile telephony base stations. Methodologies, procedures, and instrumentations for demonstrating compliance of in-

duced EMF from cellular phones with the basic restrictions in terms of the Specific Absorption Rate (SAR) were developed, as well as methods to assess the incident fields from base stations and to test compliance with the derived limits. Governments and standardization bodies have adopted these measures, and they are routinely applied worldwide to certify mobile phones and base stations.

The wireless revolution has continued beyond cellular telephony with the surging growth of other wireless communication applications, including the pervasive presence of short range wireless communication devices in homes, schools, offices, trains, etc., and novel handheld, body- and head-mounted devices that are predominately used with wireless communication links. As exposures diversify rapidly, the ongoing debate about EMF safety in general and dosimetry in particular persists with new and evolving concerns.

The constant evolution of wireless technology inevitably introduces new scientific gaps in knowledge, as outlined in detail in Section 1.2 of Part I. A thorough review of the currently available tools, procedures and methodologies for exposure evaluations is provided in Part II.

Parts III and IV describe important scientific gaps in the field of RF EMF exposure assessment that have been investigated and closed. In particular, missing procedures and test modes for the testing of general mobile communication devices employing novel unlicensed communication technologies are identified. Technical deficiencies for some of the current *in-situ* compliance test procedures for base station antennas with safety limits are also revealed. As a result, these shortcomings are investigated in Chapters 3–5, and scientifically sound procedures and methodologies for the testing of compliance with safety limits were developed. Test procedures and test modes for general mobile wireless communication devices evolved from the research described in Chapter 3. A validated *in situ* test procedure for wireless telephony and communication base stations was developed directly based on the absorption characteristics of the human body, as described in Chapters 4 and 5. Furthermore, existing, yet ambiguous, information about the reduction or enhancement of human exposure using hands-free kits with mobile phones and the necessity of separate compliance testing led to the development of procedures, methods, and tools for the compliance testing of wireless and wired hand-free kits in Chapter 9. Thus, the long-lasting scientific and public debate

as to whether wireless and wired hand-free kits reduce or enhance human exposure has been closed: exposure of the entire head is reduced when compared to the mobile phone operated directly at the head, even under worst-case conditions; although, a very localized exposure enhancement in the ear is possible when using the hands-free kits.

Chapter 4 also addresses whether current incident E- and H-field reference levels are conservative and assessed consistently with respect to the basic restriction for whole-body and localized SAR in various human anatomies. The research confirms that the current reference levels require conservative adaptation, especially in children, and some of the current *in situ* assessment standards require revisions to incorporate the proposed method in Chapters 4 and 5 into current assessment methods, which are primarily based on spatial averaging of incident fields, to obtain a consistent assessment of the localized SAR. Chapter 4 also describes the development of a novel metric for predicting the actual absorbed average power in far field exposure scenarios in various human anatomies based on knowledge of the incident field in epidemiologic studies.

Chapters 6–8 focus on dosimetry to assess mobile phone exposure in epidemiologic research. Tools for assessing mobile phone exposure under normal use conditions were developed, and a large-scale compliance test data set was statistically analyzed. Novel proxies for mobile phone exposure to support epidemiologic studies were also derived. Communication technology is a dominant predictor of exposure compared to other factors, such as the mechanical or antenna design, radiation efficiency or usage orientation. Furthermore, the actual differences between GSM and UMTS under normal usage conditions were quantified in field evaluations, allowing for the direct application of the derived variable in epidemiologic models.

The massive pervasiveness of wireless technologies in everyday life fuels the demand for greater knowledge about the impact of the increased exposure from the multitude of new technologies and devices on human health. The exposure assessment of various general mobile devices in Chapter 3 reveals a significantly higher exposure from these devices as compared to the exposure from wireless telephony base stations, for example. Mobile phones are still the dominant source of exposure for the brain. By combining all the developed techniques, the mobile phones can be reliably ranked based on the user's exposure

and in relation to the overall exposure from the various technologies.

In summary, the novel methods, procedures, tools, and conclusions developed in the course of the research enhances dosimetric research for compliance testing with safety limits, and provides support for epidemiological studies. The results were disseminated to scientific journals, and they contributed to the development of international RF EMF exposure assessment and safety standards, in addition to generally providing more detailed information about the potential health hazards of RF EMF exposure to the public.

Further research in the field of compliance testing is necessary to keep pace with rapid technological advances. Future dosimetric efforts to support epidemiologic studies should also consider the inclusion of the latest results from laboratory studies, particularly for dosimetry that is specific to the applied signal modulation and for quantification of the exposure for specific tissues of interest.

Zusammenfassung

Der spektakuläre Zuwachs mobiler Telefonieanwendungen hat Besorgnis bezüglich möglicher Gesundheitsrisiken durch die Belastung durch hochfrequente Elektromagnetische Felder (EMF) ausgelöst und zu einer fortwährenden Diskussion in der Öffentlichkeit und den Medien geführt. Regierungsbehörden und Industrie haben deshalb in der Vergangenheit mehrere Forschungsprogramme initiiert, um die aufgeworfenen gesundheitsrelevanten Fragestellungen zu untersuchen und zu beantworten. Durch diese Fragen kam es zur Gründung eines Forschungsgebiet zur Abschätzung der Belastung des Menschen durch EMF. Die Aufgabe dieses Forschungsgebietes ist es, Methoden sowie numerische und experimentelle Verfahren und Instrumente zur Untersuchung der Exposition zu entwickeln und bereitzustellen. Das Forschungsgebiet kann grob in drei Kategorien unterteilt werden: Die erste Kategorie beinhaltet die Entwicklung von Methoden und Prozeduren zur Zulassungsprüfung von Geräten, welche in nächster Nähe des menschlichen Körpers betrieben werden, z.B. Mobiltelefone und am Körper getragene sowie vom Körper gestützte drahtlose Kommunikationsgeräte. Eine weitere Kategorie beinhaltet die Entwicklung von Methoden und Verfahren zur *In-situ*-Prüfung von Fernfeld- und Quasi-Fernfeldquellen, wobei eine dominante Nahfeldquelle ausgeschlossen oder vernachlässigt werden kann. Dies schließt zum Beispiel die Prüfung von Mobilfunkbasisstationen sowie von Zugangspunkten zu drahtlosen Netzwerken ein. Die letzte Kategorie dient der Abschätzung der tatsächlichen Belastung, um z. B. Geräte bezüglich ihrer Expositionsmerkmale zu charakterisieren, oder auch zur genauen Quantifizierung der Exposition in epidemiologischen Studien.

In der Vergangenheit hat sich die Forschung hauptsächlich auf die

Absorptionsmechanismen in Bezug auf dem menschlichen Körper im reaktiven Nahfeld einer Quelle sowie auf die Quantifizierung der einfallenden EMF von Mobilfunkbasisstationen konzentriert. Methoden, Prozeduren und Messgeräte zur Prüfung von Mobiltelefonen auf die Einhaltung der für die induzierte EMF empfohlenen Basisgrenzwerte und von Basisstationen auf Einhaltung der abgeleiteten Grenzwerte für einfallende EMF wurden entwickelt. Diese Forschungsergebnisse wurden von Regierungsbehörden und Standardisierungsgremien übernommen und werden alltäglich zur Zertifizierung von Mobiltelefonen und Basisstationen angewendet.

Die Revolution der drahtlosen Technologien hat jedoch nicht beim Mobilfunk halt gemacht, sondern sich mit immensem Wachstum anderer Kommunikationstechnologien fortgesetzt. Drahtlose Geräte zur Kurzstreckenkommunikation sind heute in Wohnungen, Schulen, Büros, Zügen usw. allgegenwärtig. Neuartige auf dem Körper getragene und vom Körper gestützte Geräte werden fast ausschließlich mit drahtlosen Schnittstellen benutzt. Sie gewinnen im Alltag mehr und mehr an Bedeutung. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Belastung durch hochfrequente EMF heutzutage weitaus diversifizierter geworden ist. Dies wiederum wirft weitere Fragen bezüglich der Sicherheit im Allgemeinen und zur Dosimetrie im Speziellen auf.

Die oben genannten Faktoren haben eine Reihe von Lücken beim Kenntnisstand der Abschätzung und Beurteilung der Exposition offengelegt, welche im Detail in Abschnitt 1.2 der Einführung dieser Arbeit besprochen werden. In Teil II werden dann die heute verfügbaren Methoden, Prozeduren sowie die experimentellen und numerischen Instrumente zur Quantifizierung der Exposition vorgestellt.

In den Teilen III und IV der Arbeit werden einige der wichtigsten bestehenden Wissenslücken zur Expositionsbeurteilung untersucht und geschlossen. Insbesondere wurde das Fehlen von Testprozeduren und Testmodi für Kurzstreckenkommunikationsgeräte jeglicher Art festgestellt, die moderne unlizenzierte Technologien einsetzen. Des weiteren wurden technische Mängel einiger *in-situ* Testprozeduren bezüglich des Einhaltens der Basisgrenzwerte beim Messen der abgeleiteten Größen (E-Feld) identifiziert. Die zuvor genannten Probleme wurden in den Kapiteln 3–5 untersucht, und es wurden fundierte Methoden und Prozeduren zur Prüfung auf die Basisgrenzwerte entwickelt. Testprozeduren und Testmodi für beliebige Kurzstrecken-

kommunikationsgeräte gingen aus den Forschungsarbeiten in Kapitel 3 hervor. Eine validierte Testprozedur für *In-situ*-Typenprüfungen von Basisstationen, welche direkt auf Untersuchungen der Absorption von EMF im menschlichen Körper basiert, wurde in den Kapiteln 4 und 5 entwickelt. Des weiteren gab es in der Vergangenheit unvollständige wissenschaftliche Untersuchungen bezüglich der Verringerung bzw. Erhöhung der Belastung durch die Verwendung von Headsets beim Gebrauch von Mobiltelefonen. Es war unklar, ob gegebenenfalls eine separate Typenprüfung der Headsets notwendig ist. Zur Beantwortung dieser Fragen wurden in Kapitel 9 Verfahren und Testgeräte für die Zulassungsprüfung drahtgebundener und drahtloser Headsets entwickelt. Mit dieser Studie konnte die seit langem bestehende wissenschaftliche und öffentliche Debatte über Headsets mit dem Ergebniss abgeschlossen werden, dass ein Headset die Exposition des gesamten Kopfes gegenüber dem Telefon am Kopf verringert, es jedoch zu einer örtlich stark beschränkten Erhöhung der Belastung im Innenohr kommen kann, dass aber auch keine zusätzliche Typenprüfung dieser Geräte notwendig ist.

Ein weiteres wichtiges Problem, mit dem sich das Kapitel 4 beschäftigt, ist die Überprüfung, ob die heute bestehenden abgeleiteten Grenzwerte für einfallende E- und H-Felder konservativ im Hinblick auf die Basisgrenzwerte für die Ganzkörperabsorption und die lokale Absorption in verschiedenen anatomischen Modellen des Menschen sind. Darüberhinaus bestanden Zweifel, ob die räumliche Mittelung der einfallenden Felder in inhomogenen Feldverteilungen zu einer Überschreitung der Basisgrenzwerte für die lokale Spezifische Absorptionsrate (SAR) führen kann. Tatsächlich haben die Resultate der hier vorgestellten Forschungsarbeiten bestätigt, dass die heutigen abgeleiteten Grenzwerte einer Abänderung bedürfen, um das Einhalten der Basisgrenzwerte insbesondere für Kinder zu gewährleisten, und dass einige der heutzutage verwendeten *in-situ* Beurteilungsstandards andere Messmethoden als die räumliche Mittelung, z.B. die in den Kapiteln 4 und 5 entwickelte Methode, in Erwägung ziehen müssen. Die in Kapitel 4 dargestellten Forschungsarbeiten haben außerdem zu einer neuen Metrik zur Vorhersage der absorbierten Leistung in anatomischen Modellen des Menschen unter Fernfeldexposition für epidemiologische Studien geführt.

Kapitel 6–8 behandeln die Dosimetrie für epidemiologische For-

schung an Mobiltelefonen. Es wurden Instrumente zur Beurteilung der Belastung durch Mobiltelefone während typischer Benutzungsbedingungen entwickelt und eine große Menge an Typenprüfungsdaten von Mobiltelefonen statistisch analysiert. Aus diesen Arbeiten konnten Ersatzgrößen zur Abschätzung der Belastung zur Verwendung bei epidemiologischen Studien abgeleitet werden. Es wurde festgestellt, dass die verwendete Kommunikationstechnologie der wichtigste Prädiktor gegenüber anderen Faktoren wie dem mechanischen Aufbau, dem Antennentyp, der Strahlungseffizienz oder auch der Orientierung des Telefons während der Benutzung ist. Des weiteren wurden die tatsächlichen Unterschiede unter normalen Benutzungsbedingungen zwischen GSM und UMTS durch Feldversuche quantifiziert. Dies erlaubt es, die Benutzungsbedingungen als bekannte Variable in epidemiologische Studien einzuführen.

Trotz großen Drucks sowohl von öffentlicher Seite als auch durch Epidemiologen bestand für lange Zeit eine Wissenslücke bezüglich der zu erwartenden Exposition durch Kurzstreckenkommunikationsgeräte. Diese Lücke konnte durch die Quantifizierung der Belastung einer Vielzahl solcher Geräte geschlossen werden (Kapitel 3). Ein wichtiges Ergebnis ist, dass die Belastung durch diese Geräte gerade im Vergleich mit der Belastung durch Mobilfunkbasisstationen signifikant ist. Es wurde aber auch festgestellt, dass das Mobiltelefon noch immer die Strahlungsquelle ist, die das Gehirn am stärksten belastet. Schließlich haben die Forschungsarbeiten in dieser Arbeit auch dazu beigetragen, die Belastung durch das Mobiltelefon wieder in die Gesamtexposition durch alle Technologien einzuordnen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass diese Arbeit signifikant zum Fortschritt der dosimetrischen Forschung für die Typenprüfung, zur Begrenzung der Belastung durch hochfrequente EMF sowie zur Dosimetrie für epidemiologische Studien beigetragen hat. Die Ergebnisse der Arbeit wurden in wissenschaftlichen Zeitschriften veröffentlicht und haben zur Entwicklung internationaler Mess- und Sicherheitsstandards sowie zur Information der Öffentlichkeit beigetragen.

Weitere Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Typenprüfung sind jedoch notwendig, um mit der schnellen Entwicklung und mit dem Technologiewechsel in der drahtlosen Kommunikation Schritt zu halten. Darüber hinaus sollten zukünftige Arbeiten zur Dosimetrie in epidemiologischen Studien die neuesten Ergebnisse aus Laborstudi-

en berücksichtigen. Insbesondere ist zu empfehlen, die dosimetrischen Untersuchungen für epidemiologische Studien unter Berücksichtigung der verwendeten Modulationsverfahren und der einzelnen belasteten Gewebetypen durchzuführen.